

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



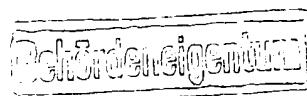
DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 3328821 A1

⑯ Int. Cl. 3:
G02B 7/11
G 02 B 21/24

⑯ Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

⑯ Erfinder:
Weber, Klaus, Dr., 7923 Königsbronn, DE



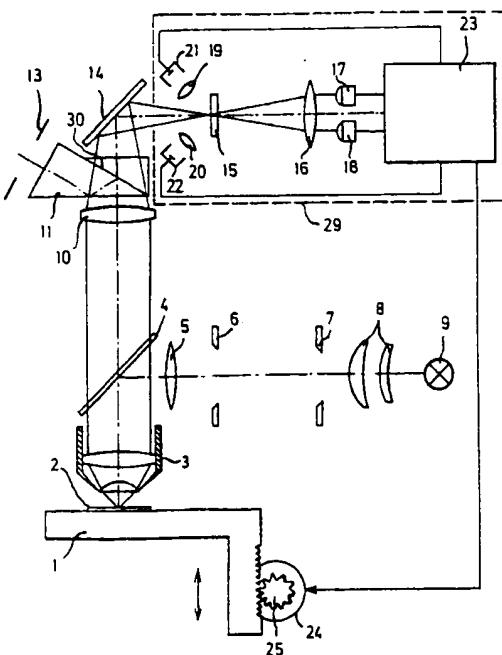
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Autofokus für Mikroskope

Für den Autofokus wird eine Hilfsbeleuchtung in den Strahlengang des Mikroskops eingespiegelt, die aus zwei nebeneinander in der Pupille angeordneten, alternierend geschalteten Lichtquellen (17, 18) besteht.

Bei Defokussierung tritt ein Parallaxeneffekt auf, und das Bild des Objekts (2) oder einer auf das Objekt projizierten Marke (15) im Lichte der Hilfsbeleuchtung beginnt im Takte der Schaltfrequenz zu oszillieren.

Diese Bildbewegung erzeugt auf in der Bildebene angeordneten Detektoren (21, 22) ein Wechselstromsignal, das zur Fokusnachstellung verwendet wird.



DE 3328821 A1

DE 3328821 A1

Patentansprüche:

1. Autofokus für Mikroskope mit einer Hilfsbeleuchtung, die in den Strahlengang des Mikroskops eingespiegelt wird, und einem oder mehreren auf den Wellenlängenbereich dieser Beleuchtung abgestimmten Detektoren zur Erzeugung eines dem Fokussierzustand entsprechenden Signals, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsbeleuchtung mindestens zwei alternierend geschaltete Lichtquellen (17, 18; 117, 118) enthält, die nebeneinander in der Nähe einer Pupille des Mikroskops angeordnet sind.
2. Autofokus nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Hilfsbeleuchtung in Auflicht erfolgt und in der Nähe einer Luke eine von der Hilfsbeleuchtung be- bzw. durchstrahlte Marke (5) angeordnet ist, die in Autokollimation auf sich selbst abgebildet wird.
3. Autofokus nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Marke ein aus durchlässigen und spiegelnden Streifen (26-28) gebildetes Gitter ist, wobei die spiegelnden Streifen in zwei Gruppen angeordnet sind, und je der Gruppe von Spiegelstreifen mindestens ein Detektor (20, 21) zugeordnet ist.
4. Autofokus nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Marke (15) ein metallbedampftes Spritzgußteil ist.
5. Autofokus nach Anspruch 2-4, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsbeleuchtung, die Marke und die Empfänger zu einer am Mikroskopstubus zu befestigenden Baugruppe (29) zusammengefaßt sind.
6. Autofokus nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Hilfsbeleuchtung im Durchlicht erfolgt und der Empfänger (121) aus einer Vielzahl von einzelnen Detektorelementen besteht.
7. Autofokus nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger (121) ein selbstabtastendes Detektorarray ist.

3328821

8. Autofokus nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Detektorarray verschiebbar ist und eine Einrichtung zur Projektion des Arrays in das mikroskopische Zwischenbild vorgesehen ist.

5 9. Autofokus nach Anspruch 1-8, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Lichtquellen um im Infraroten strahlende Leucht- bzw. Laserdioden handelt.

10. Autofokus nach Anspruch 1-9, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalverarbeitung der Empfänger (21,22; 121) im Takte der Umschaltung der Lichtquellen (17,18; 117,118) erfolgt.

15

20

25

30

35

3

3328821

5

Firma Carl Zeiss, 7920 Heidenheim (Brenz)

10

15

Autofokus für Mikroskope

20

25

30

35

83024 P

83024 G

Autofokus für Mikroskope

Zur automatischen Fokusnachstellung an Mikroskopen sind eine ganze Reihe nach unterschiedlichen Prinzipien arbeitender Systeme bekannt, 5 die sich aber bisher aus Gründen zu hohen Aufwandes oder mangelnder Zuverlässigkeit nicht allgemein durchsetzen konnten.

So ist ein Autofokus bekannt, der auf der Ausfilterung bestimmter für den Fokussierzustand charakteristischer Frequenzen aus dem Videosignal 10 einer mit dem Mikroskop verbundenen Kamera basiert. Das so aus dem Bildinhalt gewonnene Signal zur Fokusnachstellung enthält jedoch keine Richtungsinformation, deswegen muß die Nachstellung in Form eines Suchlaufs erfolgen. Nachteilig ist außerdem die Erfordernis einer Fernsehkamera.

15

Weiterhin ist es bekannt ein der Fokusverstellung dienendes Signal durch Überlagerung des Zwischenbildes mit einem schwingenden Gitter zu erzeugen, dem mehrere Fotoempfänger nachgeschaltet sind. Zur Richtungserkennung wird die Phase der Signale jeweils paarweise nebeneinander in 20 der Pupillenebene angeordneter Empfänger verglichen. Dieses System besitzt Nachteile wegen der Verwendung mechanisch bewegter Teile.

Aus der DE-OS 24 47 398 ist ein Autofokus, allerdings für Photoapparate, bekannt, der ein in der Bildebene eines Hilfsobjektivs angeordnete, 25 besitzt, aus mehreren Einzeldioden bestehendes Detektorfeld besitzt. In der Pupille des Hilfsobjektivs sind Mittel angeordnet, die jeweils alternierend nur eine Hälfte der Pupille freigeben. Bei Defokussierung tritt bezüglich der beiden, den jeweiligen Pupillenhälften zugeordneten Teilbildern eine Parallaxe auf, so daß die Detektoren ein Wechselspannungs-30 signal im Takte der Pupillenabdeckung liefern, das der Fokusnachstellung dient. Dieses System hat sich jedoch nicht durchgesetzt, da es schwierig ist, geeignete Mittel zur wechselseitigen Abdeckung der Objektivpupille zu finden, die möglichst ohne mechanisch bewegte Teile arbeiten. Für die Mikroskopie ist ein solches an die Verwendung eines 35 Hilfsobjektivs gebundenes Fokussiersystem außerdem nicht geeignet.

Für Photoapparate sind weiterhin Fokussiersysteme bekannt, die in einen

vom Hauptstrahlengang abgezweigten, zweiten Strahlengang eine Pupillenteilung vornehmen und die bei Defokussierung auftretende statische Parallaxe im Intensitätsmuster zweier, den jeweiligen Pupillenhälften zugeordneter, zeilenförmiger Detektoren zur Gewinnung des Fokussier-
5 signals auswerten. Solche Systeme sind z.B. in der DE-OS 29 22 080, der DE-OS 29 46 380 oder der US-PS 41 32 888 beschrieben. Bei diesen Systemen ist der Autofokus entweder während des Belichtungsvorganges abgeschaltet oder er benötigt einen Teil des eigentlich zur Bildentstehung vorgesehenen Lichtes. Der Einsatz dieses Systems bei einem Mikroskop 10 ist problematisch, weil hier ein ständiges Fokussieren gefordert wird und eine zusätzliche Verminderung des durch Kontrastierungsverfahren ohnehin meist recht intensitätsgeschwächten Nutzlichtes für den Autofokus unerwünscht ist. Zudem arbeiten die bisher genannten Autofokus-
15 systeme zufriedenstellend nur dann, wenn das beobachtete Objekt einen ausreichenden Eigenkontrast besitzt.

In bekannten Autofokussystemen für Geräte zur Beobachtung schwach strukturierter Objekte wird in der Regel eine Marke auf das Objekt projiziert und in Autokollimation auf sich selbst abgebildet. Derartige 20 Systeme sind z.B. in der DE-PS 24 47 663, der US-PS 34 21 815 und der DE-PS 21 02 922 beschrieben. Das aus der DE-PS 24 47 663 bekannte System benutzt jedoch ein Hilfsobjektiv zur Markenprojektion und liefert ein Autofokussignal ohne Richtungsinformation. Auch der aus der US-PS 34 21 815 bekannte Autofokus für einen Diaprojektor arbeitet mit 25 einem Hilfsobjektiv, hier in Form einer Zylinderlinse, und ist daher nicht zur Verwendung in einem Mikroskop geeignet.

Lediglich der aus der DE-PS 21 02 922 bekannte Autofokus ist auf die Verwendung in einem Mikroskop zugeschnitten. Er besitzt die im Oberbe-
30 griff des Hauptanspruches genannten Merkmale. In einer zur Pupille des Objektivs konjugierten Ebene des Strahlenganges der Hilfsbeleuchtung ist eine Blende angeordnet, die das Licht der Hilfsbeleuchtung auf eine Pupillenhälfte begrenzt. In zur Objektebene konjugierten Ebenen sind je eine Marke in Form einer Spalt- oder Lochblende und eine zwischen zwei 35 Empfängern liegende Dunkelmarke angeordnet, auf die das Licht der Lochblende nach Reflexion am Objekt bei exakter Fokussierung fällt. Im defokussierten Zustand des Mikroskops wird die Lochblende aufgrund des

Parallaxeneffektes nicht exakt auf die Dunkelmarke abgebildet sondern auf einen der beiden photoelektrischen Empfänger, der dann ein der Fokusstellung dienendes Signal liefert.

Bei diesem statischen System wirken sich Zentrierfehler der Plenden und Verkippungen der Objektfläche sehr stark auf die Genauigkeit der Fokusverstellung aus.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen zuverlässig und mit hoher Genauigkeit arbeitenden Autofokus für Mikroskope zu schaffen, der möglichst einfach aufgebaut ist.

Ausgehend von einem System nach dem Oberbegriff des Hauptanspruches wird diese Aufgabe durch eine Ausbildung gemäß den im Kennzeichen angegebenen Merkmalen dadurch gelöst, daß die Hilfsbeleuchtung mindestens zwei alternierend geschaltete Lichtquellen enthält, die nebeneinander in der Nähe einer Pupille des Mikroskops angeordnet sind.

Durch diese Ausbildung bleiben Gleichlichtanteile, die aus Dejustierungen und Objektverkippungen resultieren, ohne Einfluß auf das Regelsignal. Ein Eingriff in die im allgemeinen wenig zugängliche Objektivpupille ist nicht erforderlich. Das System gewährleistet außerdem das Erkennen der Richtung der Defokussierung, beispielsweise durch einen Vergleich der Phase zwischen der Schaltspannung für die Lichtquellen und den von den Detektoren abgegebenen Signalen.

Es ist vorteilhaft, wenn die Einstreuung der Hilfsbeleuchtung in Auflicht erfolgt und eine von der Hilfsbeleuchtung be- bzw. durchstrahlte spiegelnde Marke in der Nähe einer Luke angeordnet und in Autokollimation auf sich selbst abgebildet wird. Diese Marke ist zweckmäßig ein metallbedämpftes Spritzgußteil in Form eines aus durchlässigen und spiegelnden Streifen gebildeten Gitters, wobei die spiegelnden Streifen in zwei Gruppen angeordnet sind, die gegen die optische Achse symmetrisch geneigt sind.

den, wenn nicht korrekt fokussiert ist. Auf diese Weise erhält man einen vom Bildinhalt bzw. dem Bildkontrast unabhängig arbeitenden Autofokus, der mit wenigen preiswerten Bauteilen arbeitet und äußerst empfindlich ist. Dieser Autofokus ist nicht nur für Auflichtmikroskope sondern auch für Durchlichtaufbauten brauchbar, wenn dafür gesorgt ist, daß der Objektträger in dem Spektralbereich der Hilfsbeleuchtung genügend gut reflektiert, was durch eine geeignete Beschichtung immer erreicht werden kann.

10 Es ist jedoch auch möglich und insbesondere bei häufigem Arbeiten mit gut strukturierten Durchlichtobjekten vorteilhaft die Einstreuung der Hilfsbeleuchtung im Durchlicht vorzunehmen und in der Bildebene einen Empfänger zu verwenden, der aus einer Vielzahl von einzelnen Detektor-elementen besteht, z.B. ein sogenanntes selbstabtastendes Detektorarray, das eine der Objekthelligkeitsverteilung entsprechende Signalfolge liefert.

Bei Defokussierung verschiebt sich diese Signalfolge im Takte der Umschaltung der Hilfsbeleuchtung und kann daher bei geeigneter Auswertung 20 zur Bildung eines Nachführsignals für die Fokussiermechanik des Mikroskops dienen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den Unteransprüchen und sind nachstehend anhand der Fig. 1-5 der beigefügten Zeichnungen 25 erläutert:

Fig. 1 ist eine Prinzipskizze eines ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung;

30 Fig. 2 ist eine detailliertere Darstellung des Gitters 15 aus Fig. 1 in geändertem Maßstab;

Fig. 3 ist eine Prinzipskizze eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung;

35

Fig. 4 ist ein Diagramm zur Erläuterung des Signalverlaufs des Detektors 121 aus Fig. 3;

Fig. 5 ist eine Teilskizze eines gegenüber Fig. 3 leicht modifizierten Ausführungsbeispiels.

In Fig. 1 ist mit 1 der vertikal verstellbare Tisch eines Auflichtmikroskops bezeichnet, auf den das zu untersuchende Objekt 2 aufgelegt ist. Dieses wird durch das Objektiv 3 beobachtet, hinter dem ein halbdurchlässiger Teilerspiegel 4 zur Einspiegelung des Beleuchtungsstrahlengangs angeordnet ist. Darauf folgen die Tubuslinse 10 und ein Prisma 11 zur Ausspiegelung des Beobachtungsstrahlenganges in die nicht dargestellten Okulare. Die Tubuslinse 10 entwirft an der Stelle der Blende 13 das vom Beobachter wahrgenommene Zwischenbild des Objekts 2.

Der Beleuchtungsstrahlengang enthält eine Glühlampe 9, einen Kondensor 8, eine Aperturblende 7, eine Leuchtfeldblende 6 sowie eine Hilfslinse 5 zur Abbildung der Aperturblende 7 in die hintere Brennebene des Objektivs 3. Soweit entspricht die Darstellung der eines herkömmlichen Auflicht-Mikroskops.

Das Prisma 11 besteht aus zwei Teilen, zwischen denen eine wellenlängenselektive Teilerschicht 30 angeordnet ist. Über diese Teilerschicht wird das von zwei Infrarotdioden 17 und 18 abgegebene Licht der Hilfsbeleuchtung für den Autofokus nach Umlenkung am Vollspiegel 14 in den Strahlengang des Mikroskops eingespiegelt. Selbstverständlich ist es auch möglich dieses Ausführungsbeispiel 30 abzuwandeln, daß zusätzlich noch eine Kamera angeschlossen werden kann. In diesem Falle würde man die wellenlängenselektive Teilerschicht in den Spiegel 14 verlegen und die Schicht 30 als einfachen Strahlteiler ausbilden oder das Prisma 11 verschiebbar lagern.

30 Zwischen den nebeneinander in einer Pupille angeordneten Dioden 17 bzw. 18 und dem Spiegel 14 ist in einer der Objektoberfläche konjugierten Ebene eine Marke 15 angeordnet. Diese Marke wird von den Dioden 17 und 18 mit Hilfe der Linse 16 beleuchtet und von der Tubuslinse 10 und dem Objektiv 3 in die Objektebene und in Autokollimation wieder auf sich 35 selbst abgebildet.

Die Marke 15 besteht aus einer transparenten Platte aus Kunststoff, die

wie Fig. 2 zeigt auf der Seite der Dioden 17/18 eben und unverspiegelt ist und objektseitig mehrere gitterförmige, nebeneinander angeordnete Rillen aufweist. Diese Rillen besitzen ebene, schräggestellte und verspiegelte Seitenwände 26 und 28 und sind durch unverspiegelte Stege 27 5 voneinander getrennt.

Zwischen der Marke 15 und dem Spiegel 14 sind außerhalb der optischen Achse jedoch symmetrisch zu ihr ein Paar Detektoren 21 und 22 mit zugehörigen Hilfslinsen 19 bzw. 20 angeordnet. Die Hilfslinsen 19 und 20 10 bilden in Verbindung mit den ihnen zugeordneten Spiegelstreifen 28 und 26 jeweils die Pupille des Objektivs 3 auf die Empfänger 21 bzw. 22 ab. Die Empfänger sind ebenso wie die Leuchtdioden 17 und 18 mit einer Elektronikeinheit 23 verbunden, die die Dioden 18 und 19 alternierend ansteuert und die von den Detektoren 21 und 22 gelieferten Signale im 15 Takte der Diodensteuerung zu einem Fokusfehlersignal verarbeitet, das zur Ansteuerung eines Motors 24 dient. Dieser Motor 24 verstellt über ein Getriebe 25 den Tisch 1 in seiner Höhe.

Alle Bauteile des Autofokus sind zu einer am Stativ des Mikroskops zu 20 befestigenden Baugruppe 29 zusammengefaßt.

Die Wirkungsweise dieser Einrichtung ist folgende:

Befindet sich das Objekt 2 im Fokus, so werden die transparenten Stege 27 der Spiegelmarke 15 exakt auf sich selbst abgebildet, gleichgültig 25 von welcher Diode 17 oder 18 die Marke 15 gerade beleuchtet wird. Ange deutet ist dies in Fig. 2 durch den schräg auf den Steg 27 auffallenden Strahl a der Diode 17, der nach Reflexion an der Objektoberfläche als Strahl a' wieder an der gleichen Stelle durch den Steg 27 hindurch tritt.

30

Befindet sich das Objekt 2 nicht exakt im Fokus, so erfährt der Strahl a bei der Reflexion am Objekt einen seitlichen Versatz und gelangt je nach Vorzeichen der Defokussierung als Strahl b bzw. Strahl c auf eine der schräggestellten Spiegelflächen 26 bzw. 28 und nachstehend durch 35 die Optik 19 bzw. 20 auf einem der Detektoren 21 oder 22. Entsprechendes gilt für das von der zweiten Diode 18 abgegebene Licht. Dabei ist jedoch festzustellen, daß aufgrund des Parallaxeneffektes von den bei-

den in unterschiedlichen Pupillenhälften angeordneten Dioden jeweils unterschiedliche Detektoren beleuchtet werden.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die beiden in Differenz geschalteten 5 Detektoren 21 und 22 ein Wechselspannungssignal abgeben, dessen Amplitude der Größe der Defokussierung entspricht und dessen Phasenlage in Bezug auf die Schaltspannung der Dioden 17 und 18 die Richtung der Refokussierung angibt. Dieses Signal dient nach phasenempfindlicher 10 Gleichrichtung in der Steuereinheit 23 zur Regelung des Motors 24, der zur Refokussierung den Tisch 1 verstellt.

Das in Fig. 3 dargestellte Ausführungsbeispiel eines Autofokussiersystems für Durchlichtmikroskope verwendet keine in Autokollimation auf sich selbst abgebildete Marke sondern basiert wie nachstehend beschrieben 15 auf dem Prinzip der Autokorrelation zweier Objektbilder.

Der Beobachtungsstrahlengang des Mikroskops besteht wieder aus einem Objektiv 103, mit dem das auf dem Tisch 101 aufliegende Durchlichtobjekt 102 betrachtet wird. Das Objektiv 103 erzeugt in Verbindung mit 20 der Tubuslinse 110 ein Bild des Objekts an der Stelle der Feldblende 113 nach Umlenkung des Strahlenganges durch das aus zwei Teilen 111 und 112 bestehende Prisma. Die Kittschicht zwischen den Teilen 111 und 112 ist als Strahlteiler ausgebildet, so daß über das Prisma 112 ein Zusatzteil z.B. eine Kamera angeschlossen werden kann.

25

Beleuchtet wird das Objekt 102 von einer Glühlampe 109, die von einem Kollektor 108 und einer darauffolgenden Hilfslinse 105 nach Umlenkung am Spiegel 120 in die hintere Brennebene des Kondensors 119 abgebildet wird, wo sich die Aperturblende 107 befindet. Mit 106 ist die Leucht- 30 feldblende bezeichnet.

Zwischen der Leuchtfeldblende 106 und dem Kondensor 119 ist ein wellenlängenselektiver Strahlteiler 114 angeordnet, der die Infrarotstrahlung zweier wiederum alternierend geschalteter Leuchtdioden 117 und 118 in 35 den Beleuchtungsstrahlengang einspiegelt. Die Dioden 117 und 118 sind nebeneinander angeordnet und werden von der Linse 116 in die Ebene der Aperturblende 107 abgebildet.

Hinter dem Objektiv 103, an einer Stelle, an der üblicherweise die Auflichtbeleuchtung eingespiegelt wird, ist ein zweiter wellenlängenselektiver Strahlteiler 104 angeordnet, der die von den Dioden 117 und 118 abgegebene Strahlung aus dem Beobachtungsstrahlengang wieder ausspiegelt. Eine Linse 115 erzeugt das Bild der Probe 102 im Lichte dieser Strahlung.

In der Bildebene ist ein selbstabtastendes Detektorarray 121 angeordnet, dessen Abtastfrequenz mit der Schaltfrequenz der Dioden 117/118 synchronisiert ist. Die Abtastung von Detektorarray und Dioden erfolgt durch eine Steuereinheit 123, die auch das von der Detektorzeile abgebene Signal verarbeitet und daraus ein Steuersignal zur Verstellung des Tisches 101 für den über das Getriebe 125 mit dem Tisch 101 verbundenen Elektromotor 124 bildet.

15

Befindet sich das auf dem Tisch 101 aufliegende Objekt 102 im Fokus des Objektivs 103, so sind die beiden Signalfolgen, die das Array 121 bei Beleuchtung des Objekts einmal durch die Diode 117 und das andere mal durch die Diode 118 abgibt, identisch und entsprechen der Helligkeitsverteilung im Objektbild an der Stelle des Arrays 112.

Ist das Objekt jedoch außer Fokus, so tritt aufgrund der außerachsialen Beleuchtung durch die Dioden 117 und 118 ein Parallaxeneffekt auf und das Bild des Objekts 102 verschiebt sich in der Ebene des Detektorarrays 121 alternierend im Takte der Schaltfrequenz der Dioden. Dieser Fall ist in Fig. 4 erläutert. Aufgetragen ist dort die Bildhelligkeit I über die Elemente des Arrays 121. Der Graph L 17 gibt die Helligkeitsverteilung bei Beleuchtung des Objekts 102 durch die Diode 117 und der Graph L 18 die Verteilung bei Beleuchtung des Objekts durch die Diode 118 wieder. Richtung und Ausmaß der Verschiebung beider Kurven sind durch Richtung und Ausmaß der Defokussierung bestimmt.

Die Abtastung des Arrays 121 im Takte der Schaltfrequenz der Dioden 117 und 118 liefert also zwei Signalfolgen, deren Phasenverschiebung durch eine geeignete Schaltung im Steuerteil 123 erkannt und zur Bildung des Regelsignals für den Motor 124 herangezogen wird.

In der modifizierten Ausführungsform nach Fig. 5 ist das Array 121 in der Bildebene mittels einer nicht dargestellten Handhabe verschiebbar gelagert, wie dies durch die Pfeile 129 angedeutet ist. Das ermöglicht ein gezieltes Auswählen des Probenortes, auf den der Autofokus scharf stellt. Damit die Lage des Arrays 21 für den Beobachter sichtbar ist, sind an beiden Enden des Arrays 121 je eine Leuchtdiode 127 bzw. 128 befestigt. Diese Dioden werden mit Hilfe eines hinter dem Teilerspiegel 104 angeordneten Tripelprismas in die Zwischenbildebene am Ort der Blende 113 abgebildet.

10

15

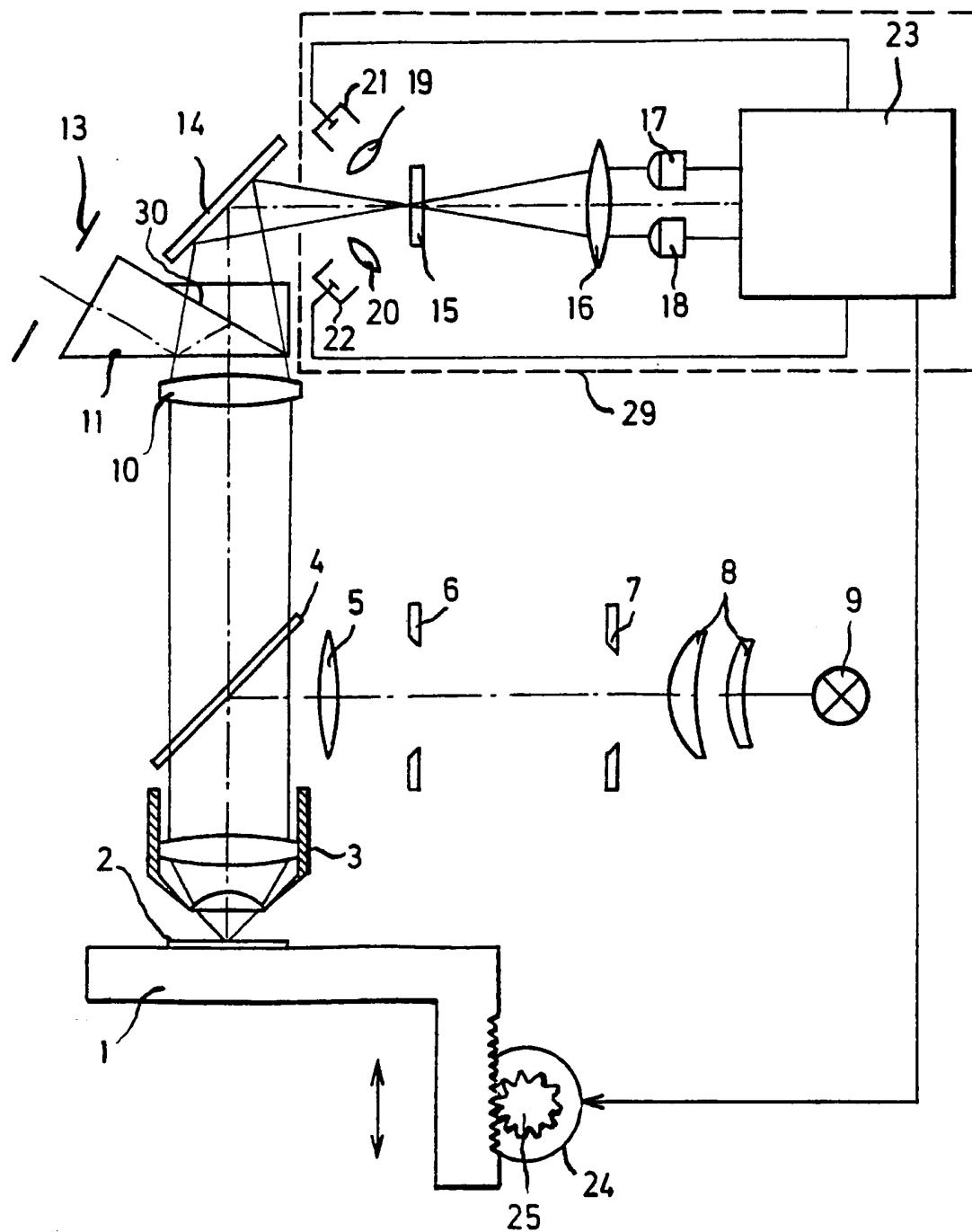
20

25

30

35

Fig.1



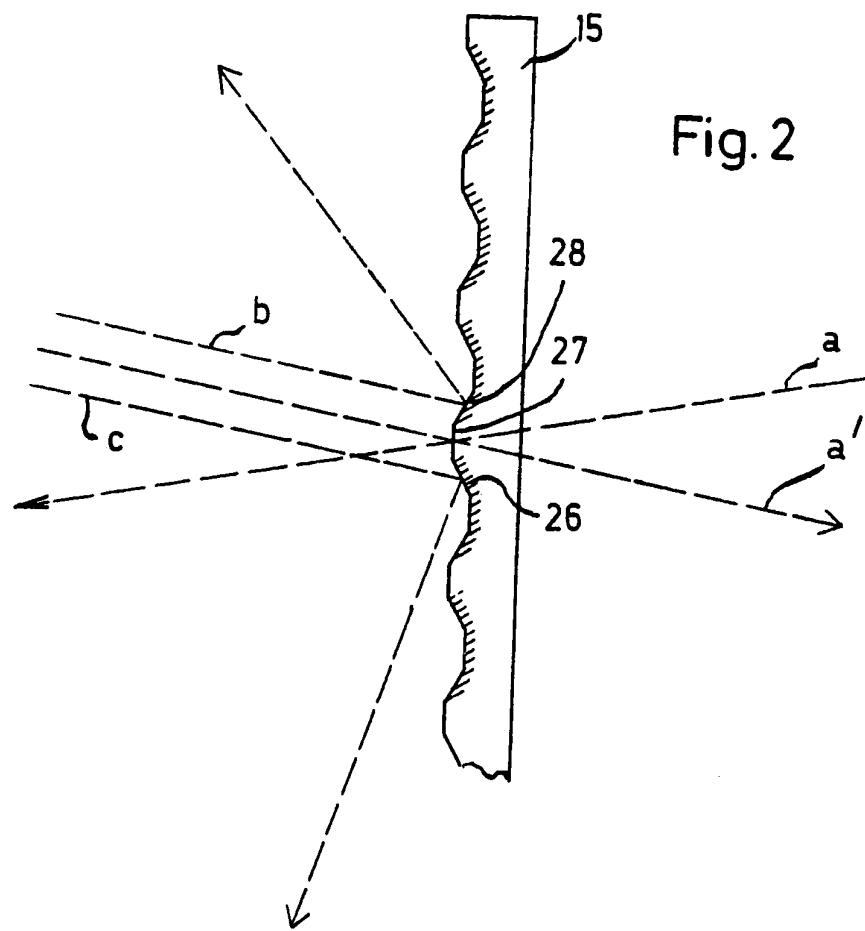


Fig. 4

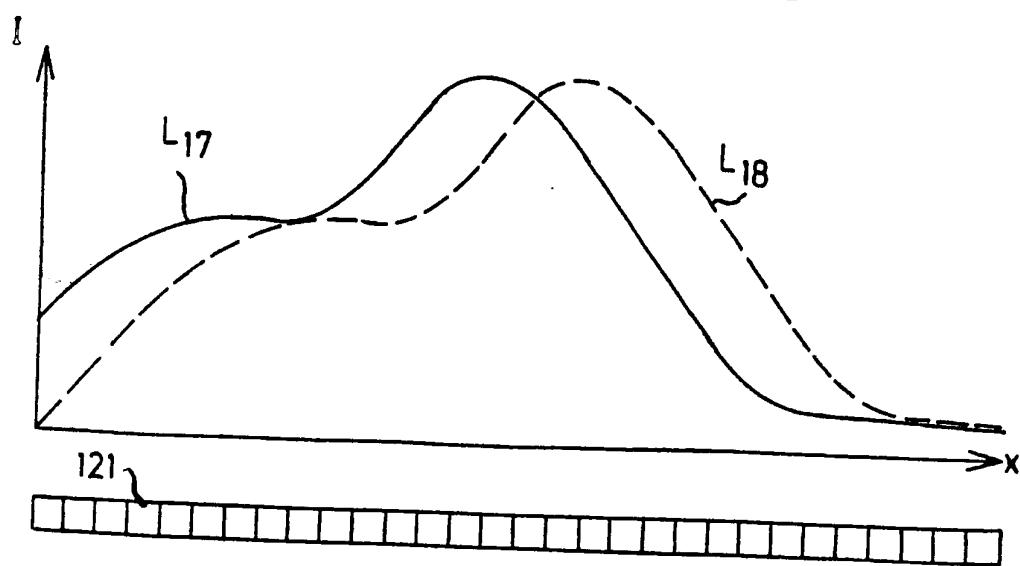


Fig.5

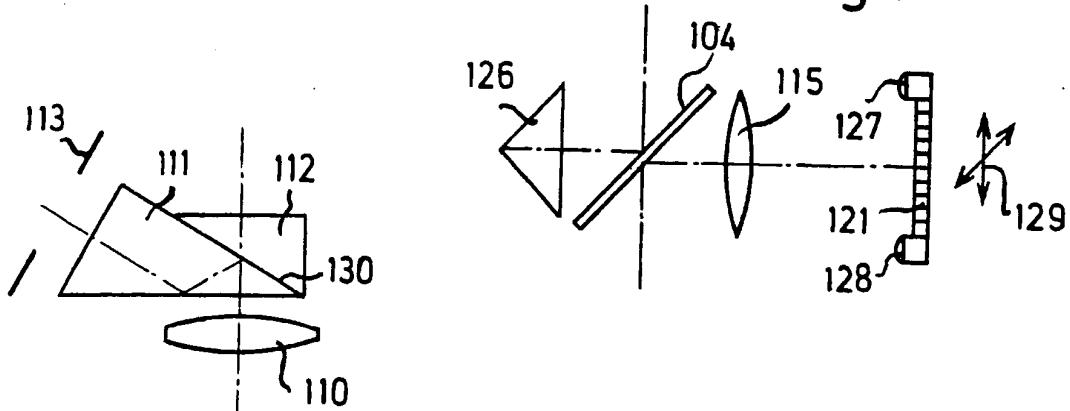


Fig. 3

